

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR COMPACTOS CON NÚCLEOS TPMS”

AUTOR: DÁVILA TORRES BRANDON ALEXANDER

DIRECTOR: ING. HERNÁN VINICIO LARA PADILLA PhD

31-08- 2023



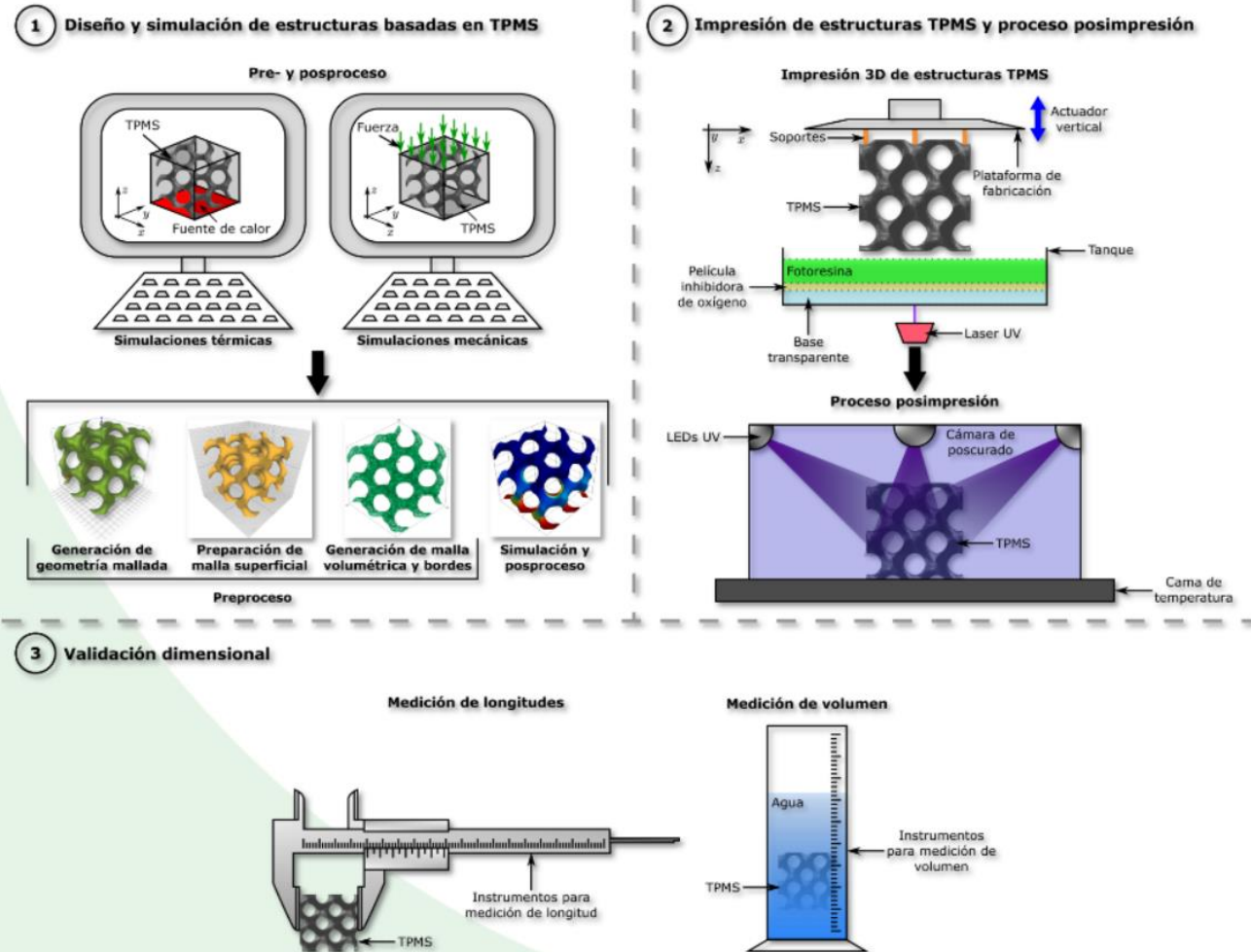


CONTENIDO

- Antecedentes y justificación
- Alcance
- Estado del arte
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones

Antecedentes

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triple periódicas



Antecedentes

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triple periódicas

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

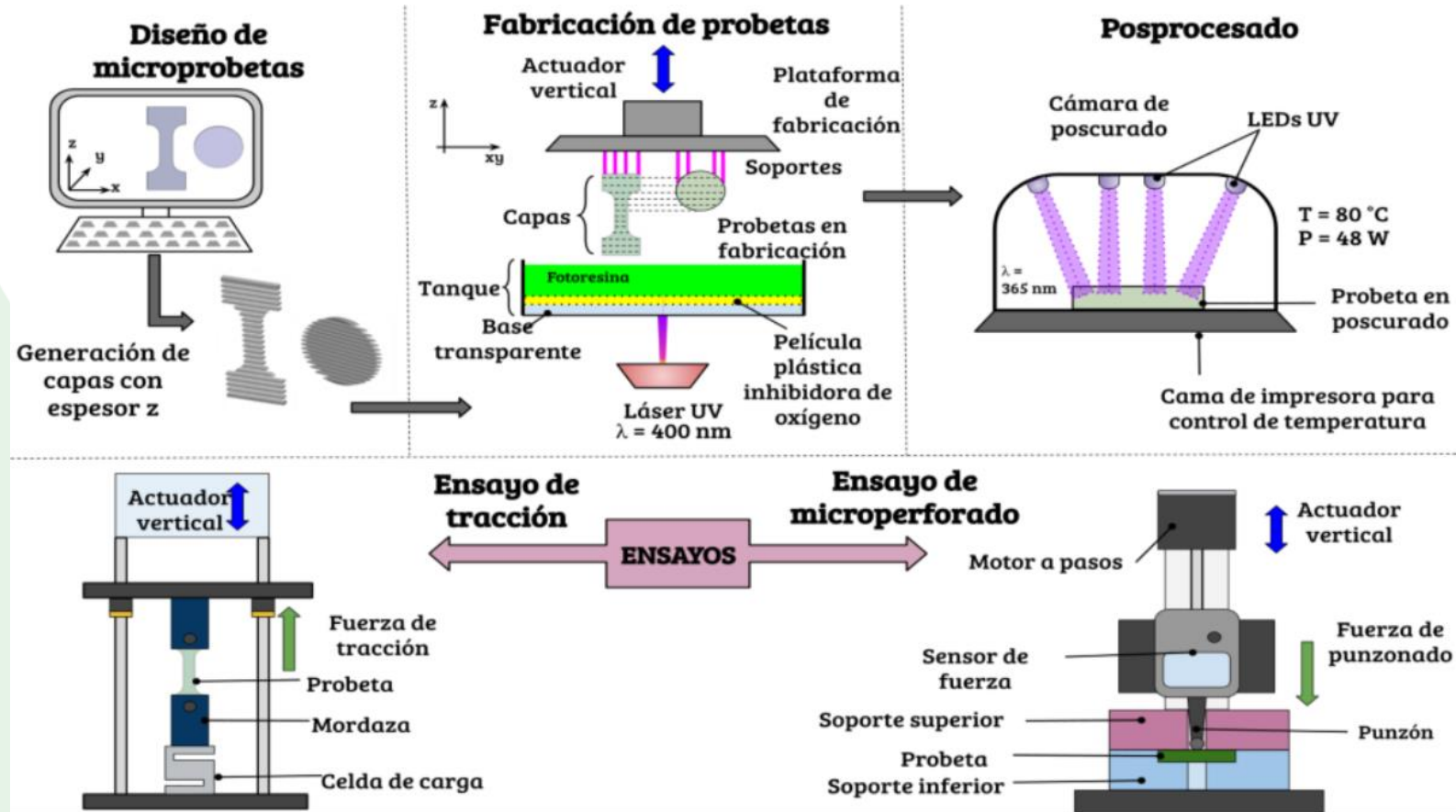
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

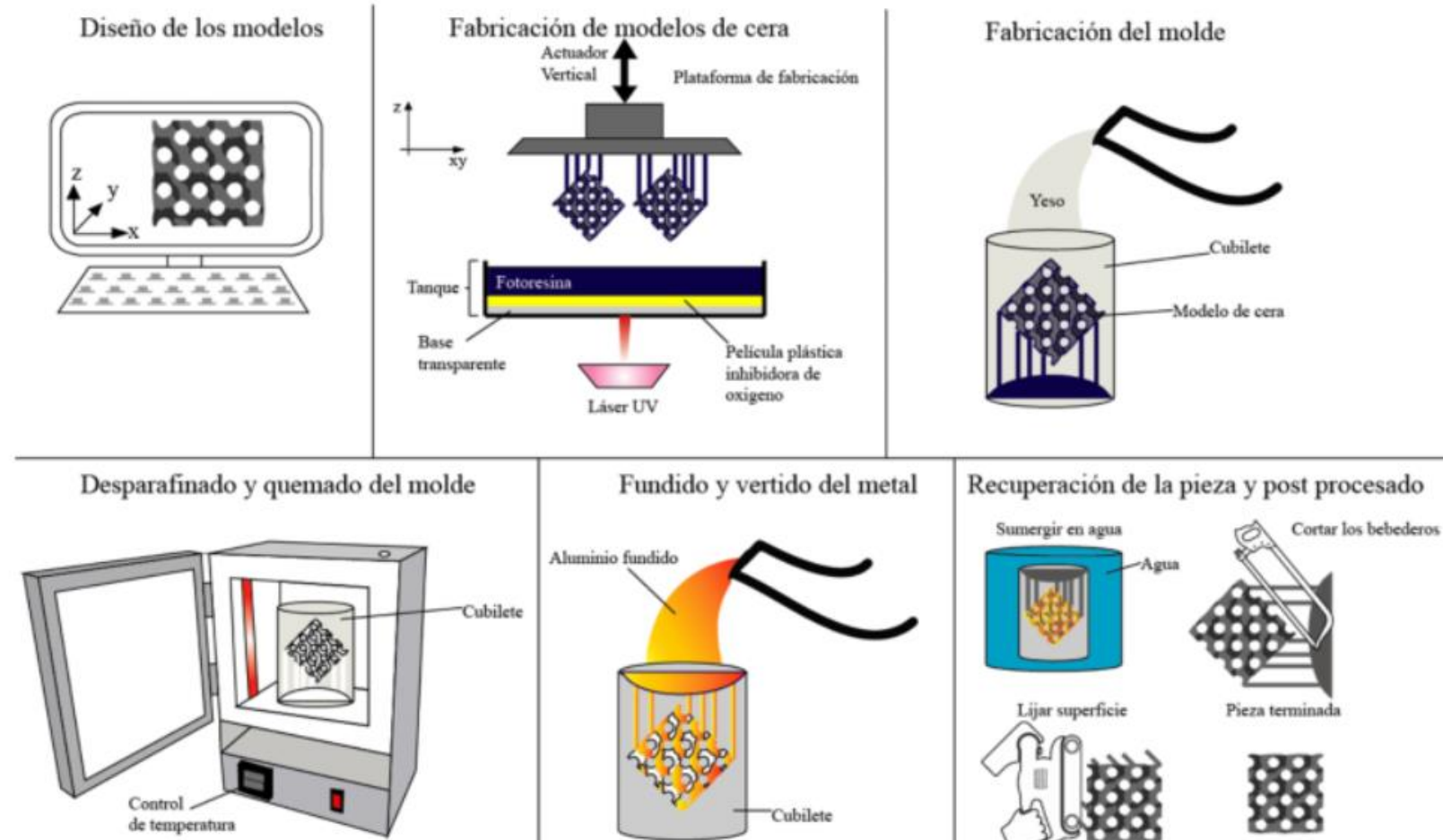
Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triple periódicas





Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

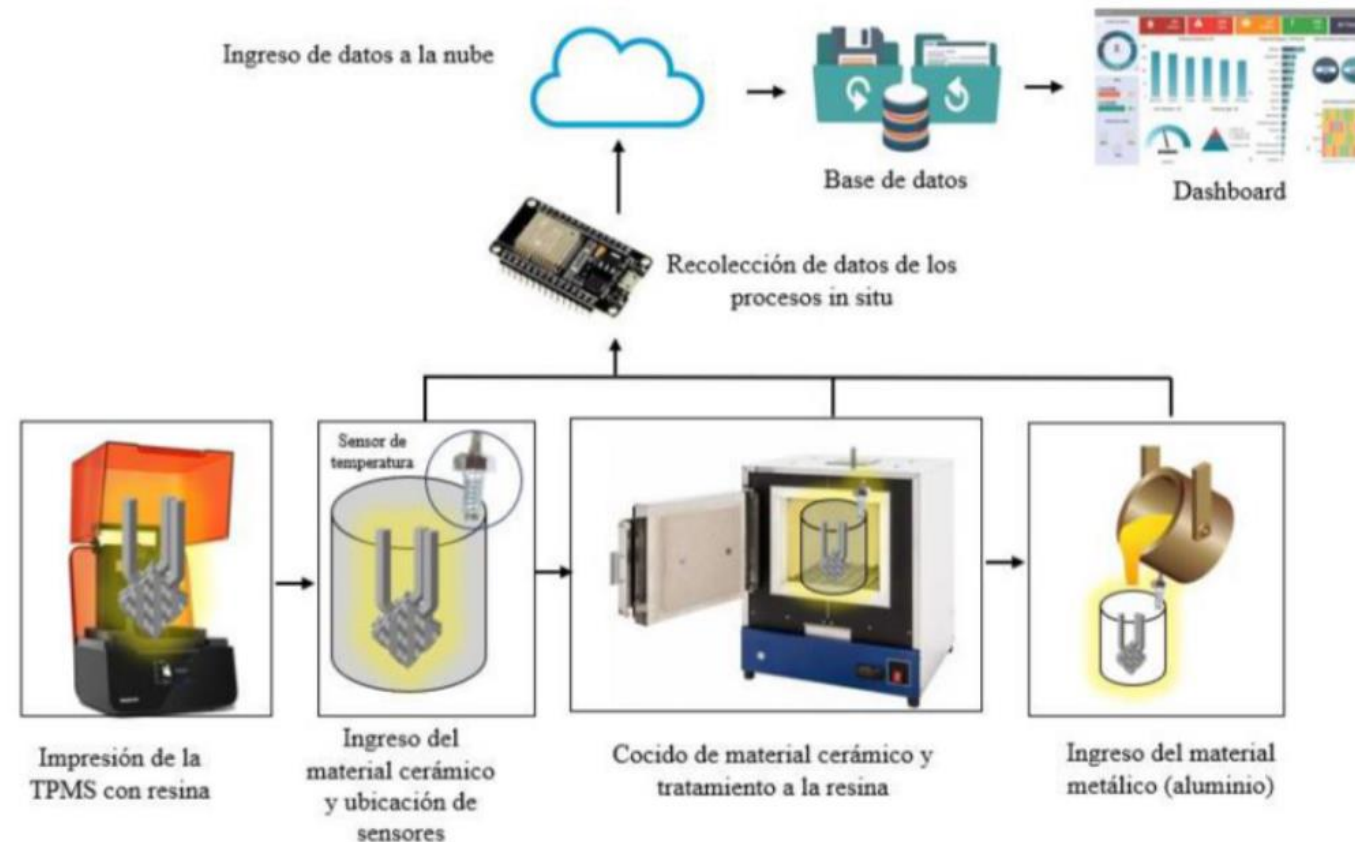
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Antecedentes

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triple periódicas





Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

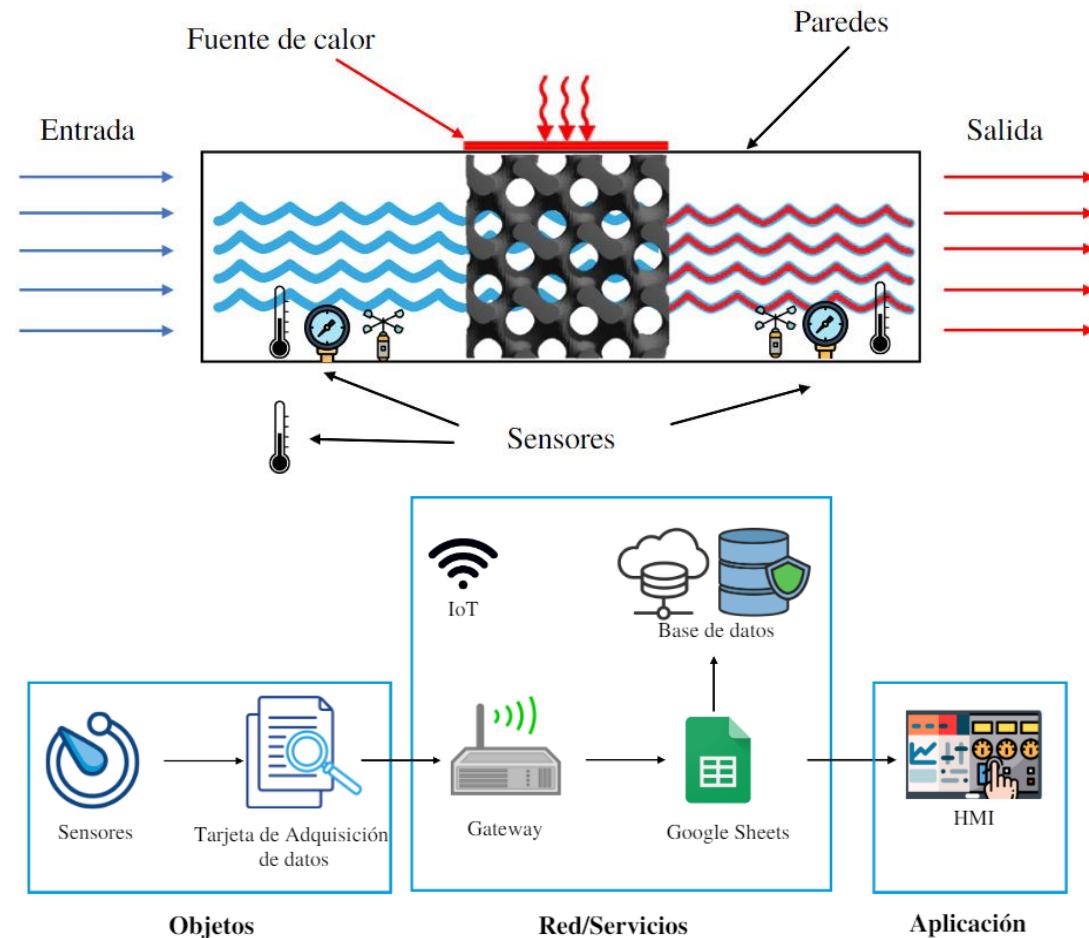
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Antecedentes

Diseño, fabricación y validación de intercambiadores de calor compactos usando núcleos de superficies mínimas triple periódicas





Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

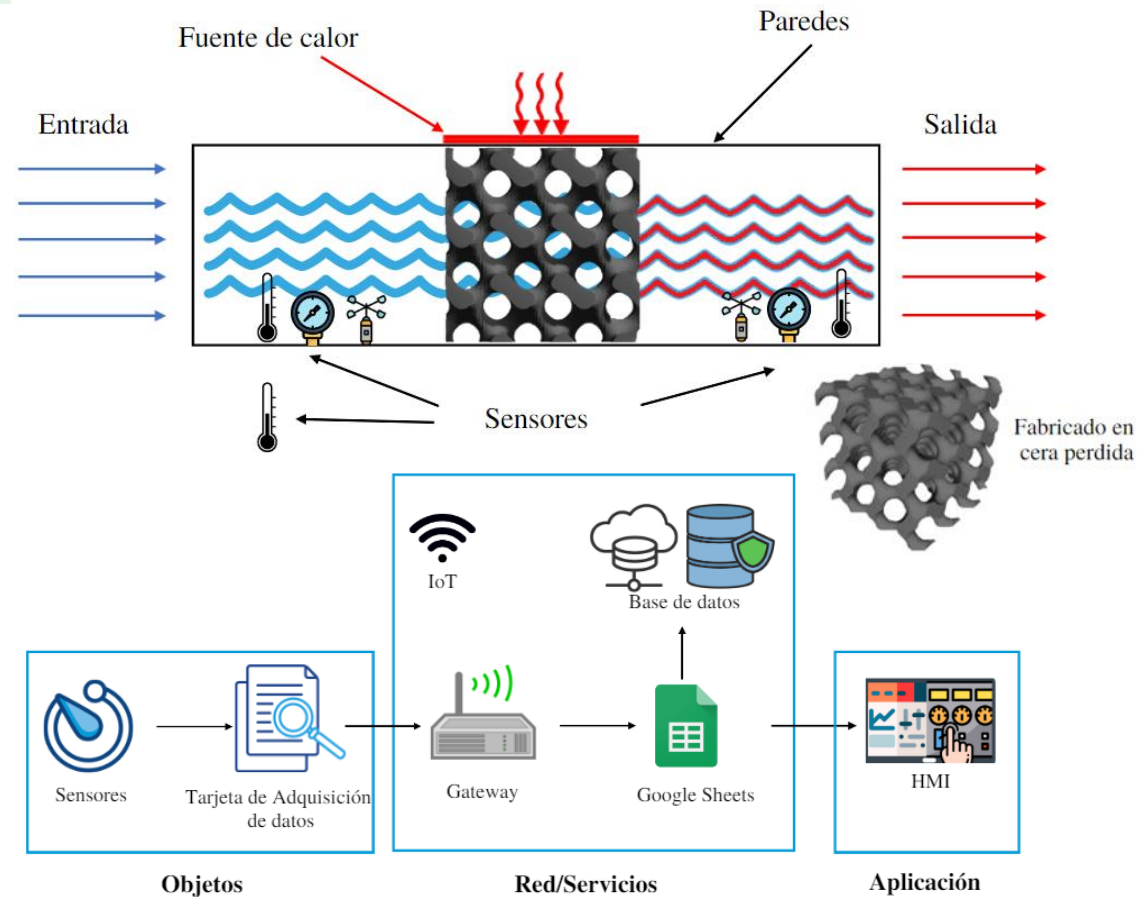
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Alcance



- Investigación bibliográfica
- Intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS
- Prototipo de plataforma de evaluación
- Diseño e instrumentación
- Análisis de resultados



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Objetivos

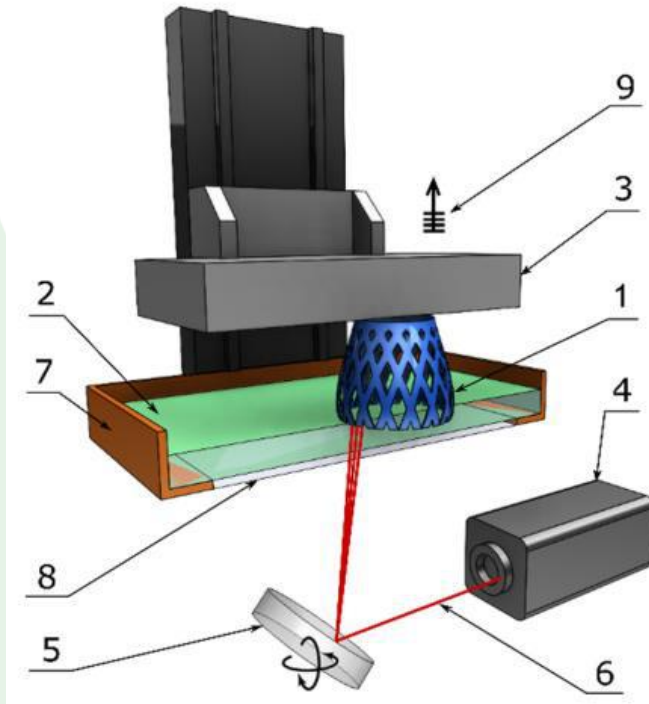
General

- Evaluar el rendimiento térmico de los intercambiadores de calor compactos con núcleos TPMS.

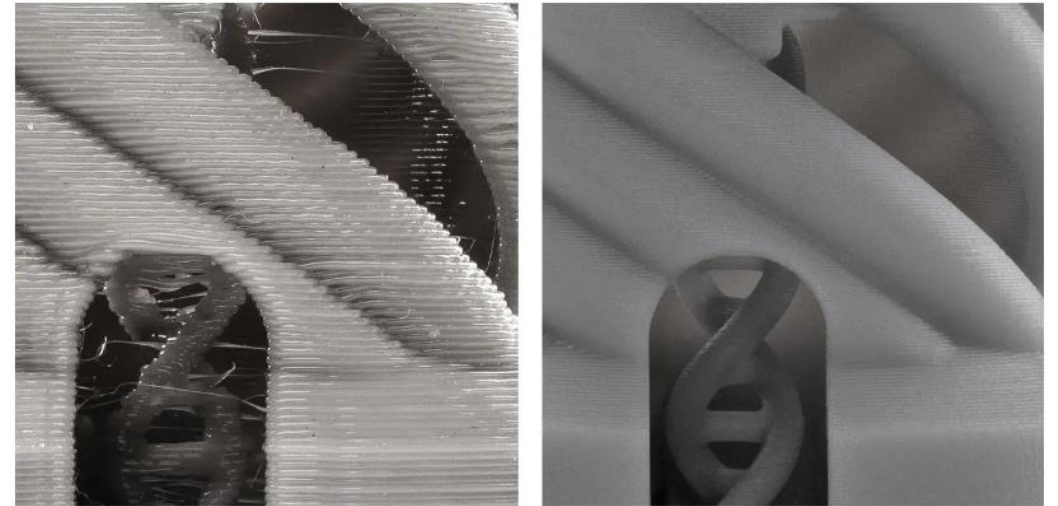
Específicos

- Investigar las variables empleadas para la validación y cálculo de desempeño de intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS.
- Desarrollar un protocolo experimental para medir variables para intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS.
- Diseñar, construir y desarrollar una plataforma IoT para instrumentar y monitorear el desempeño de los intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS.
- Evaluar factores de rendimiento térmico significativos usando diseño experimental.

Impresión 3D FDM vs SLA



Nota. Tomado de (Pagac et al., 2021)

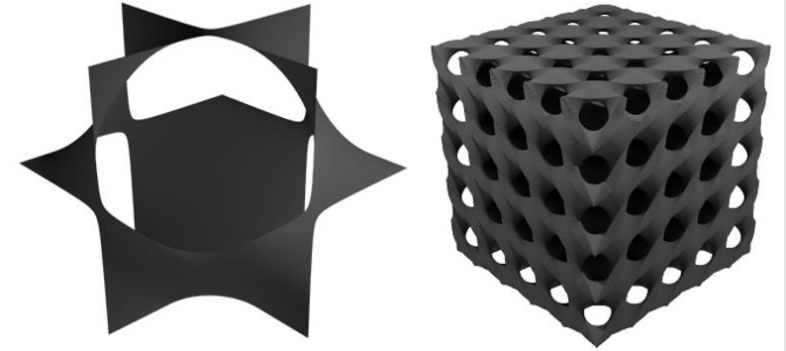


Nota. Tomado de (*Impresión 3D*, s. f.)

Superficie mínima triple periódica

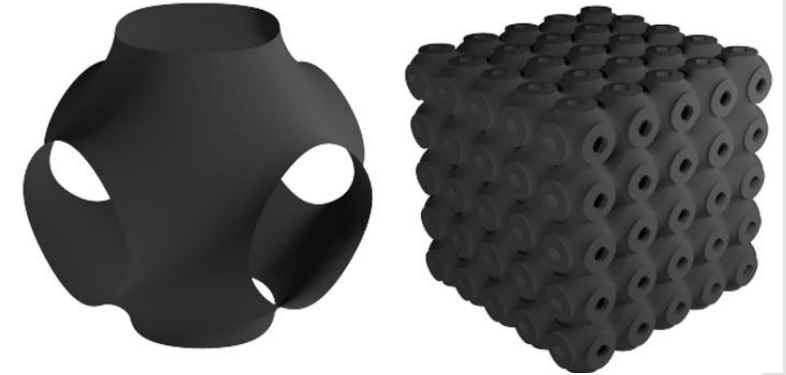
Shwartz Diamante

$$\sin(N_z z) \cos(N_x x - N_y y) + \cos(N_z z) \sin(N_x x + N_y y) - C = 0$$



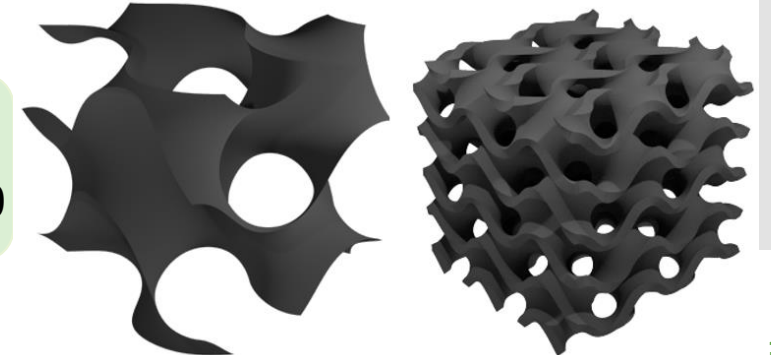
Shwartz Primitiva

$$\sin(N_x x) + \cos(N_y y) + \cos(N_z z) - C = 0$$



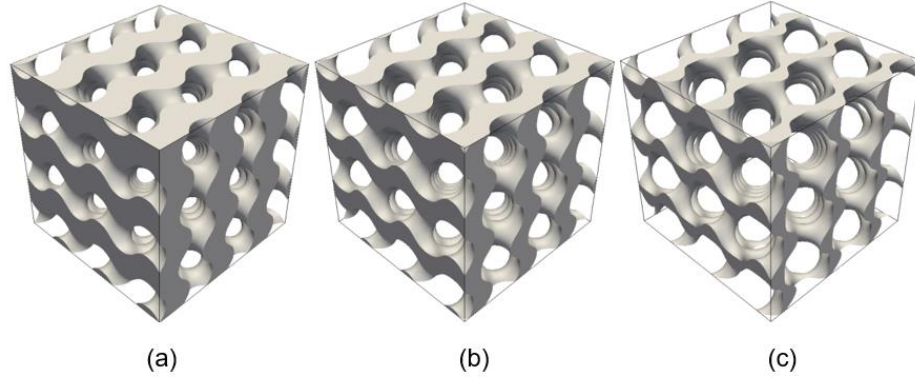
Schoen Giroide

$$\sin(N_x x) \cos(N_y y) + \sin(N_y y) \cos(N_z z) + \sin(N_z z) \cos(N_x x) - C = 0$$

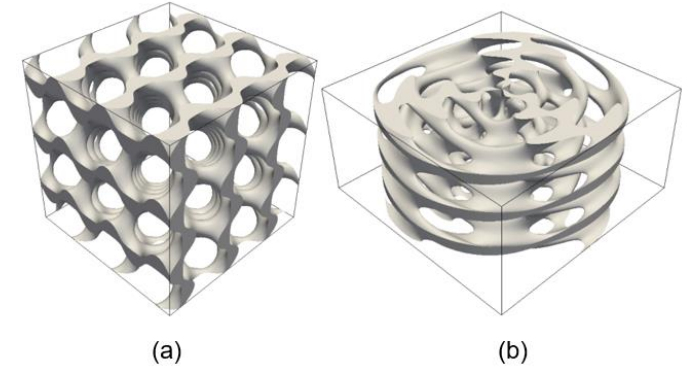


Nota. Tomado de (Restrepo et al., 2017)

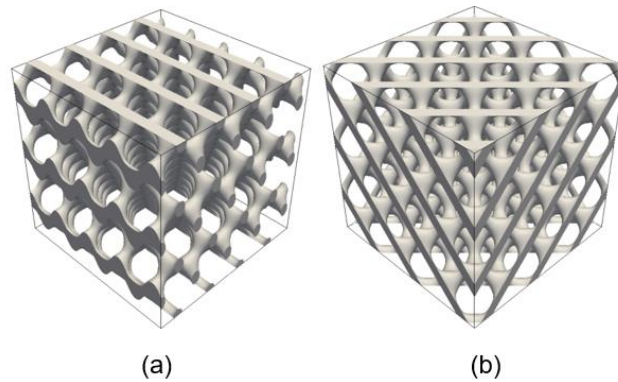
Características topológicas



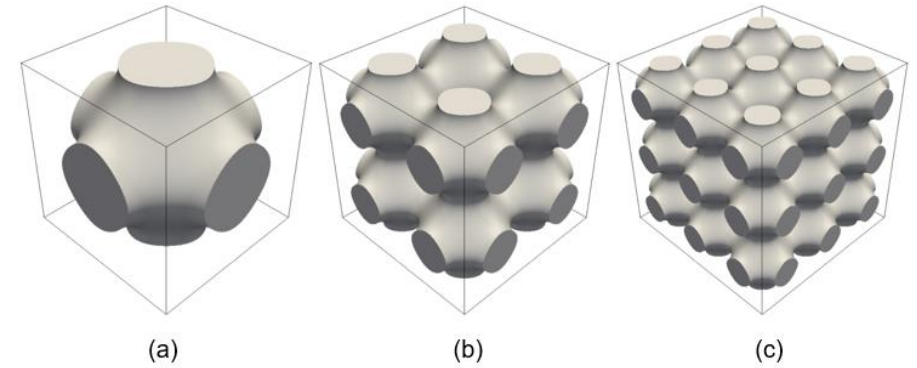
Porosidad



Generación

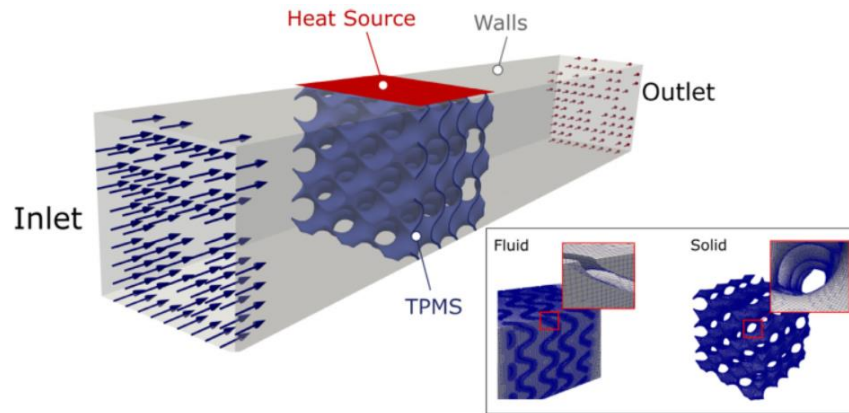


Orientación

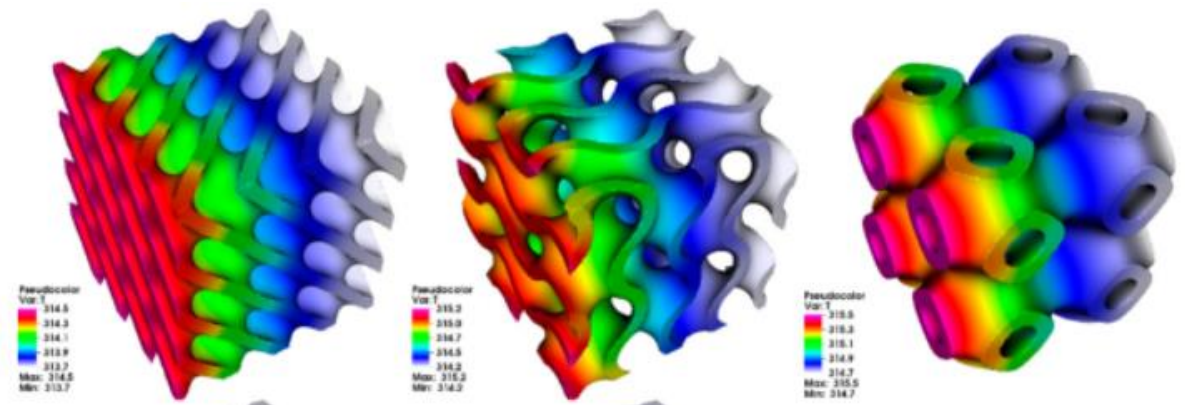


Celdas de unidad

Evaluaciones térmicas TPMS



Nota. Tomado de (Attarzadeh et al., 2021)



Nota. Tomado de (Gawronska & Dyja, 2021)



Internet de las cosas (IoT)/ Data analytics - Science

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

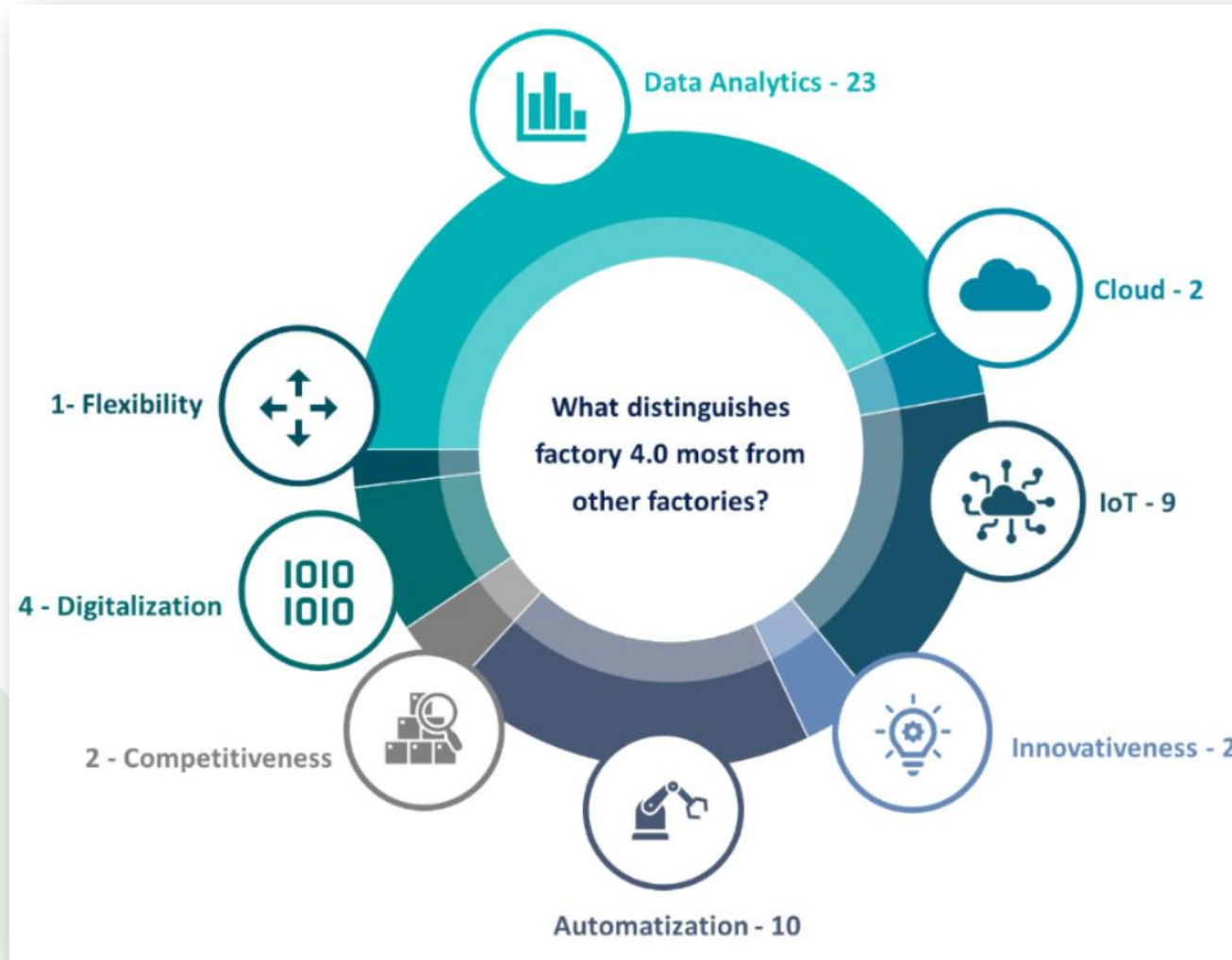
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Nota. Tomado de (Pollak et al., 2020)



ECUADOR

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

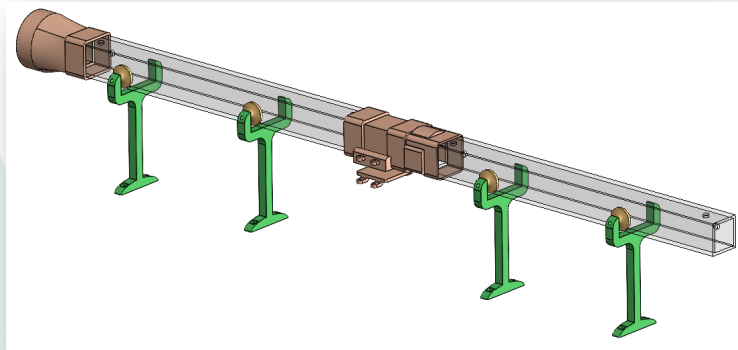
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

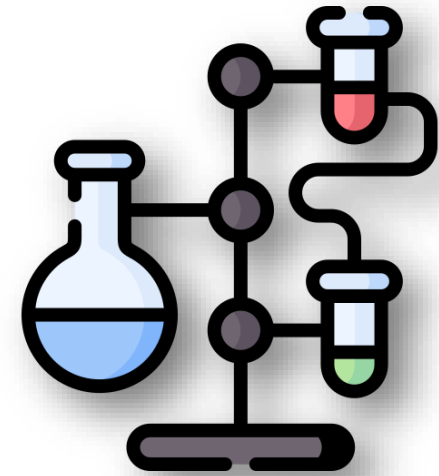
Diseño y construcción de prototipo de plataforma de evaluación



Diseño y fabricación de intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS.



Evaluación del rendimiento térmico utilizando diseño experimental y validación de modelo.





Fase de diseño

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

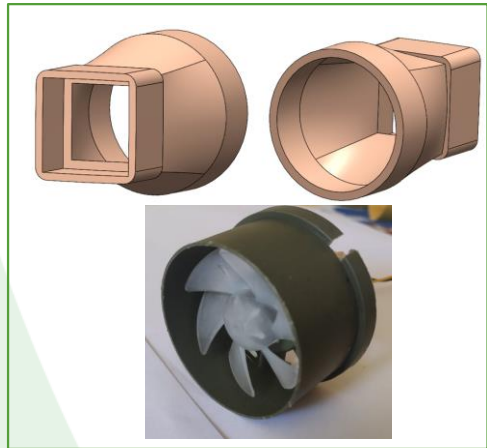
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

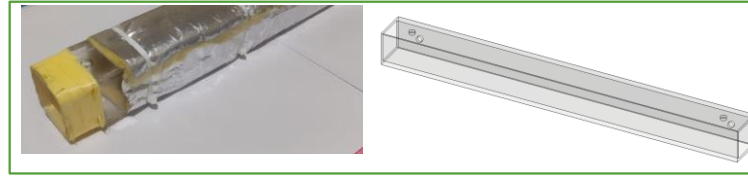
Conclusiones

Recomendaciones

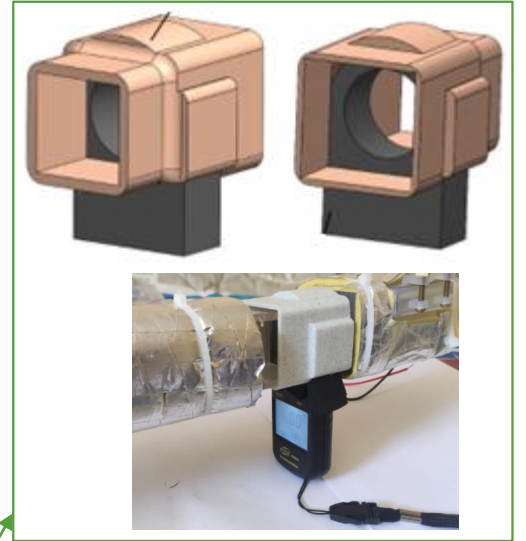
Trabajos futuros



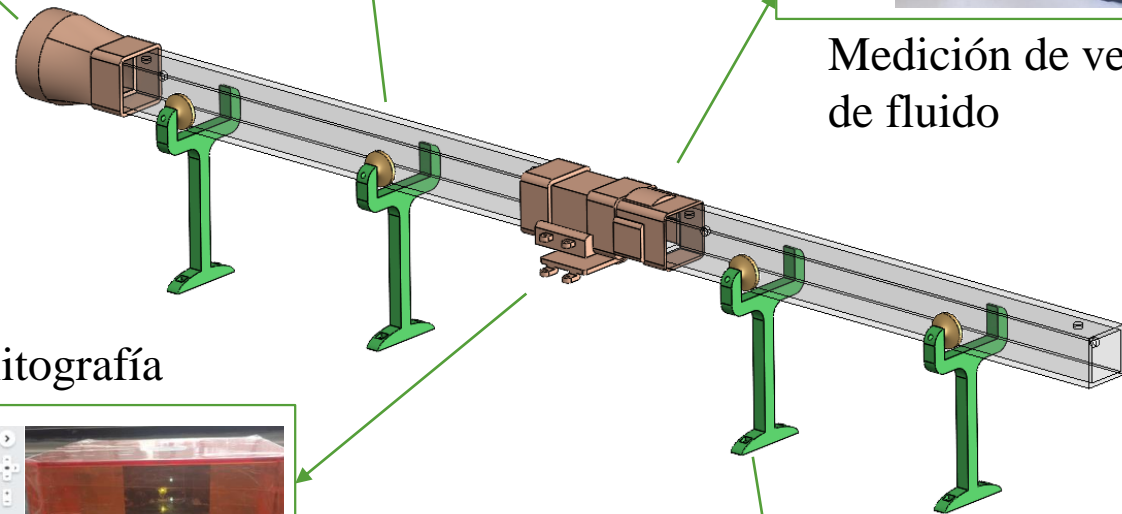
Fuente de flujo



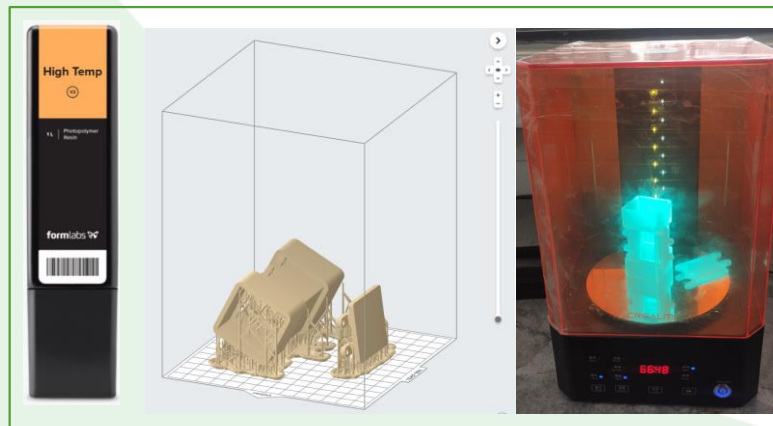
Canales de flujo



Medición de velocidad de fluido



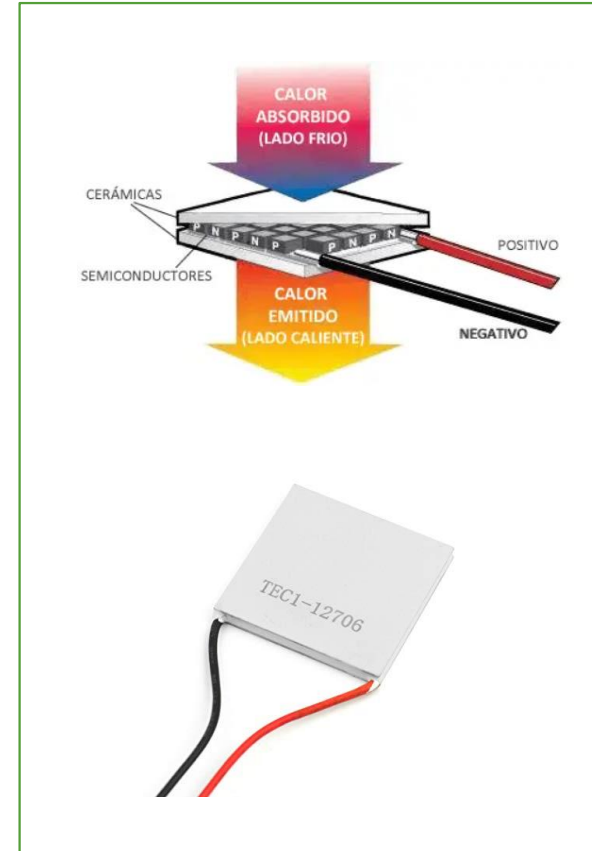
Pieza central/Estereolitografía



Soportes y placas de fijación

Fuente de calor

Celda de Peltier	
Marca	HB Electronic Components
Modelo	TEC1-12706
Dimensiones	40x40x3.6 mm
Voltaje de operación	3 – 16 V
Corriente de operación	1.5 – 7 A
Resistencia	1.98 – 2.30 Ω
Potencia eléctrica máxima	112 W (16V @ 7A)
Máxima temperatura en cara caliente	75°C





Instrumentación

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Variable	Simulación	Medición	Cálculo
	computacional	experimental	analítico
Temperatura	✓✓	✓✓	-
Presión	✓	✓✓	-
Velocidad del fluido	✓	✓✓	-
Temperaturas externas de convección	-	✓	-
Potencia eléctrica de fuente de calor	✓✓	✓✓	-
Rendimiento térmico	✓	-	✓

(Attarzadeh et al., 2021)

(Gawronska & Dyja, 2021)

(Vilarrubí et al., 2018)

Proyecto presente



Temperatura

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

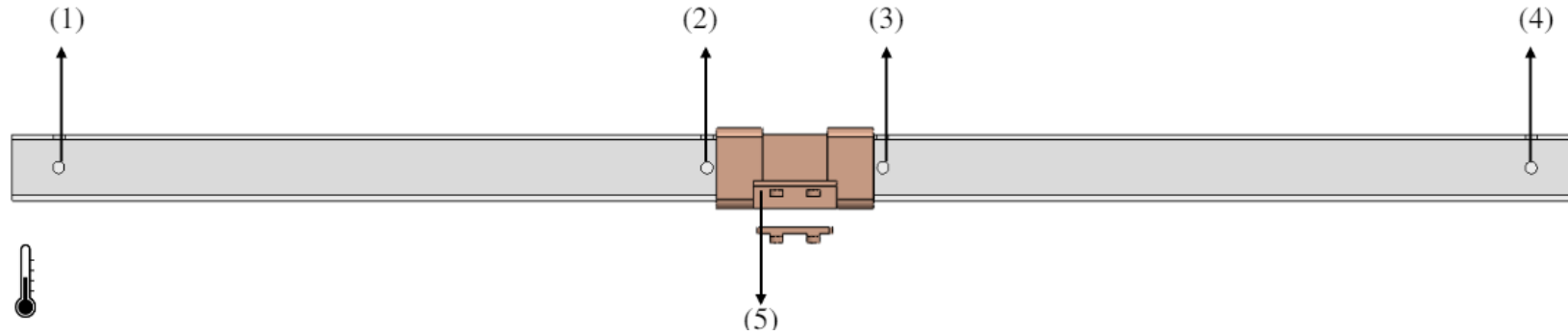
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Especificación técnica	DS18B20
Rango	-55 a 125 °C
Voltaje de operación	3 a 5.5 V
Señal de salida	Digital (OneWire)
Precisión	± 0.5 a ± 2 °C

Imagen referencial



Multímetro

Marca	Proskit
Modelo	MT-1280
Rangos de medición de voltaje DC	200mV/2V/20V/200V ± (0.5%)
Rangos de medición de corriente DC	200mA ± (1.2%)
Rango de temperatura	(-20 °C a 1000 °C) <400± (1.0%)

Ilustración





Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

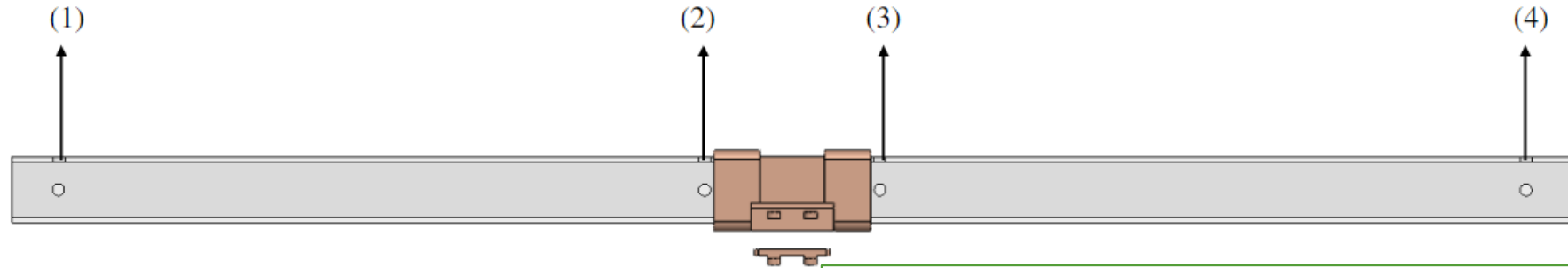
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

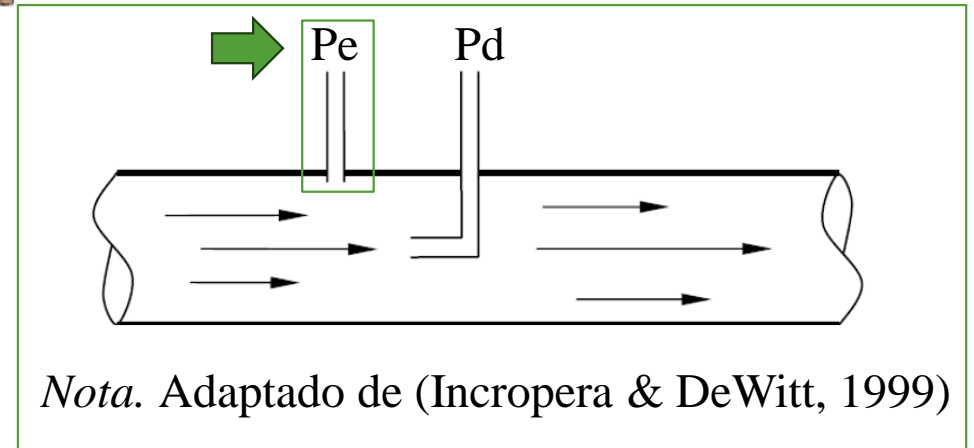
Presión



Especificación técnica MPS20N0040D-D

Rango	0 a 40 kPa
Voltaje de operación	3.3 a 5 V
Señal de salida	Analógica
Precisión	$\pm 1.5 \%$

Imagen referencial



Nota. Tomado de (Amazon, 2023)



Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

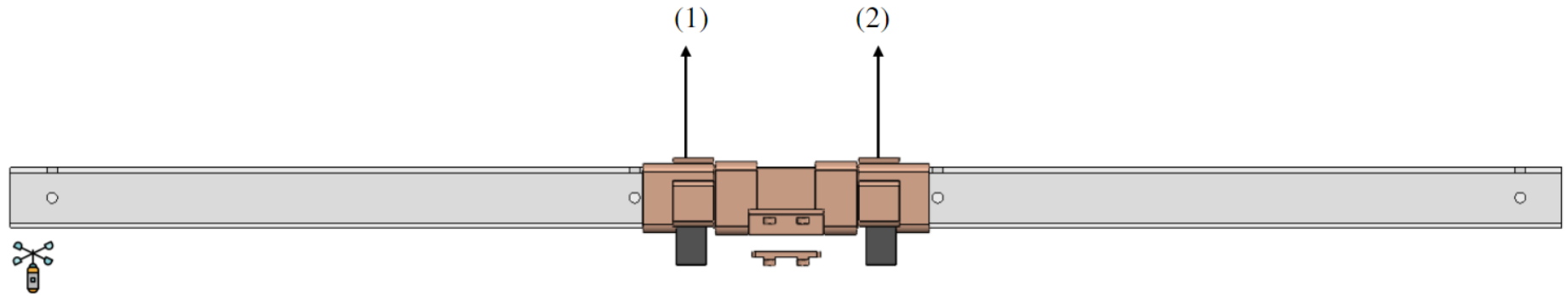
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Velocidad



Anemómetro	
Marca	Benetech
Modelo	GM816
Rangos de medición	0.1 a 30 m/s
Resolución	0.1 m/s
Exactitud	$\pm 5 \%$
Batería de alimentación	3 V CR2032
Ilustración	





Controladores

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Controlador Motor DC

Driver	L298N
Voltaje de alimentación	6 a 48 V
Corriente máxima de cada canal	2 A
Salida lógica	5 V
Potencia máxima	25 W
Señal de control PWM requerida	3.3 a 5 V

Ilustración



Controlador electrónico

Marca	Idea Former
Modelo	Bed Mosfet V1
Voltaje de operación	12- 24 V
Corriente máxima	30 A
Señal de control PWM	3.3 - 24 V

Ilustración





Alimentación y Tarjeta de adquisición de datos

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Fuente de alimentación

Marca	ATX INS
Modelo	P4-800
Potencia eléctrica	800 W
Voltajes de salida	3.3/±5/±12/ V
Corrientes de salida	27/30/38 A

Ilustración



Tarjeta de adquisición de datos

Marca	ExpressIf
Modelo	WROOM-32
Procesador	Tensilica Xtensa 32bits LX6 hasta 240MHz
WiFi	802.11b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 Ghz hasta 150 Mbit/s)
ROM	448 KiB
Voltaje de trabajo	3.3 V
STAM	512 kB

Ilustración





Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

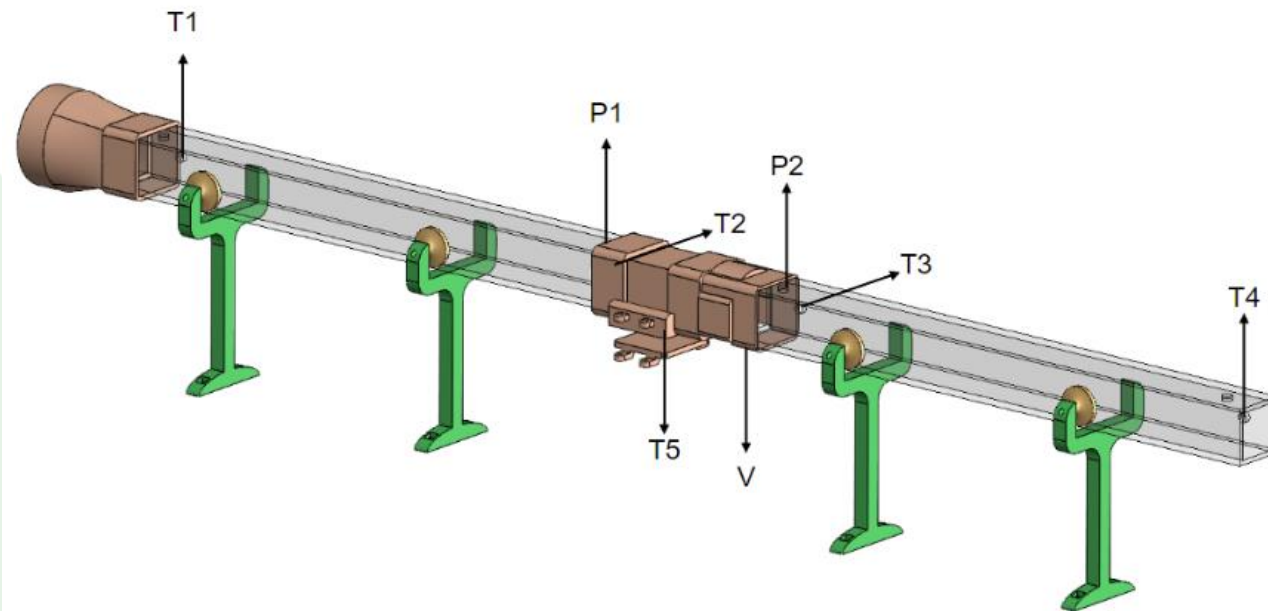
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

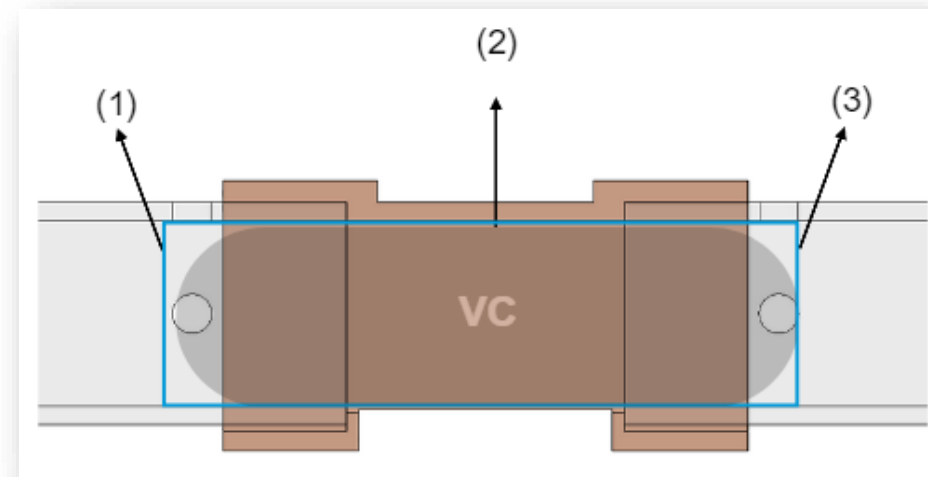
Montaje





Validación mediante balance energético

- (1) Superficie de control de entrada
- (2) Contorno que encierra el volumen de control (región sombreada)
- (3) Superficie de control de salida.



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

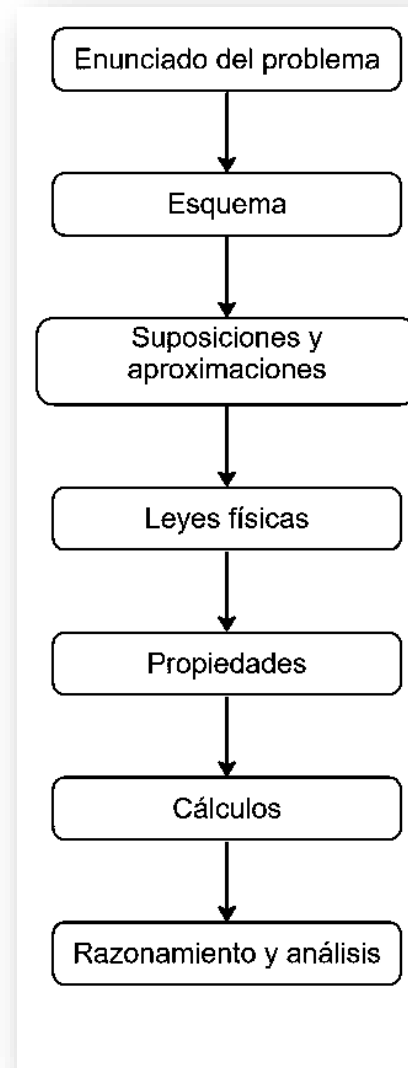
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Validación mediante balance energético



Nota. Tomado de (Çengel & Boles, 2015)

Validación mediante balance energético

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

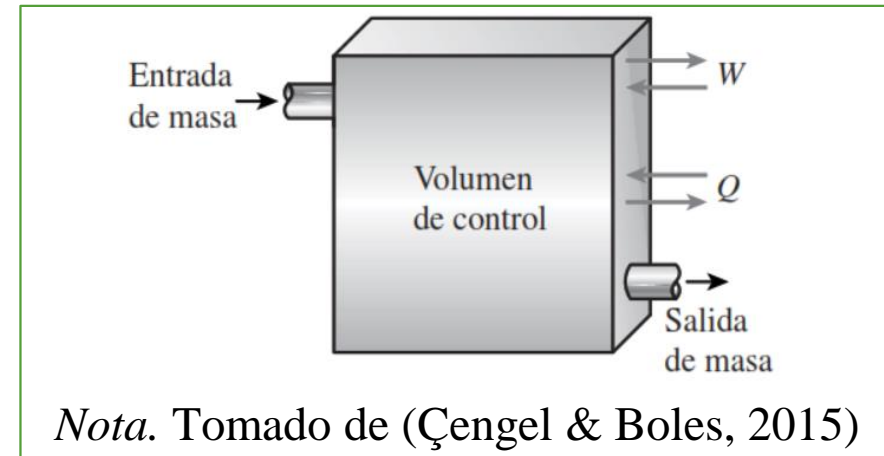
Recomendaciones

Trabajos futuros

$$\dot{Q}_e + \dot{W}_e + \sum_e \dot{m} \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_s + \dot{W}_s + \sum_s \dot{m} \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right)$$

$$\dot{W}_{el\acute{e}ctrico} + \dot{m}_e \frac{P_e}{\rho_e} + \dot{m}_e \left(u_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) = \dot{m}_s \frac{P_s}{\rho_s} + \dot{m}_s \left(u_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) + P_{convección} + P_{fricción}$$

$$\dot{W}_{el\acute{e}ctrico} + \dot{m}_e \left(\frac{P_e}{\rho_e} + u_e + \frac{V_e^2}{2} \right) = \dot{m}_s \left(\frac{P_s}{\rho_s} + u_s + \frac{V_s^2}{2} \right) + P_{convección} + P_{fricción}$$





Validación mediante balance energético

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Eficiencia del sistema

$$\mu_{sistema} = \frac{e_{salida\ útil}}{e_{entrada}} = \frac{\dot{m}_s \left(\frac{P_s}{\rho_s} + u_s + \frac{V_s^2}{2} \right)}{\dot{W}_{el\acute{e}ctrico} + \dot{m}_e \left(\frac{P_e}{\rho_e} + u_e + \frac{V_e^2}{2} \right)}$$

Rendimiento térmico

$$\eta_{t\acute{e}rmico} = \frac{\dot{m}_s u_s}{\dot{W}_{el\acute{e}ctrico} + \dot{m}_e u_e}$$



Fabricación de estructuras TPMS

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Diseño de experimentos

Parámetros generación TPMS

Fuerzas

Material TPMS

Porosidad

Dominio matemático

Sistema de coordenadas

Orientación de núcleo

Celda de unidad

Inerciales

Viscosas

Externas

Conductores

Aislantes

Rendimiento térmico de intercambiadores de calor compactos de núcleo TPMS

Schwartz

Giroide

Primitiva

Diamante

Tiempo de muestreo

Generador de flujo

Fuente de calor

Régimen del fluido

Dominio físico del fluido

Aislante

Resina térmica

Tipo TPMS

Parámetros de plataforma

Material Plataforma

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Diseño de experimentos

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Factor	Unidad	Número de niveles	Nivel de factor		
			Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Estructura	-	3	Diamante	Primitiva	Giroide
Porosidad	%	3	50	65	80
Reynolds	-	2	4500	5600	-

9 estructuras TPMS requeridas

Características topológicas constantes:

- Dominio matemático de 30mm
- Sistema de coordenadas cartesianas
- Numero de celdas de unidad igual a 3



Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diseño de experimentos

Tipo TPMS	Porosidad		
	50	65	80
Shwartz Diamante			
Shwartz Primitiva			
Schoen Giroide			



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción










Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diseño de experimentos

Tipo TPMS	Porosidad		
	50	65	80
Shwartz Diamante			
Shwartz Primitiva			
Schoen Giroide			



Diseño de experimentos

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología


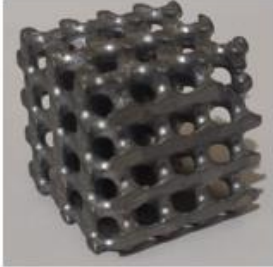







Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Tipo TPMS	Porosidad		
	50	65	80
Shwartz Diamante			
Shwartz Primitiva			
Schoen Giroide			



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Resumen DOE

Estructura TPMS	Factores	
	n[%]	Re
Shwartz Diamante	65	5600
	50	4500
	65	5600
	65	4500
	50	4500
	50	5600
	65	4500
Shwartz Primitiva	50	5600
	65	4500
	80	5600
	65	4500
	65	5600
	50	5600
	80	5600
	50	5600
	80	4500
	80	4500
Schoen Giroide	65	5600
	80	4500
	65	4500
	65	5600
	80	5600
	65	5600
	80	5600
	65	4500
	80	5600
	80	4500

Tipos de estructura TPMS	Número de experimentos
Shwartz Diamante	8
Shwartz Primitiva	12
Schoen Giroide	12
Número total de experimentos	32

Variables de salida:

- Diferencia de temperatura
- Caída de presión
- Rendimiento térmico



Protocolo experimental

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

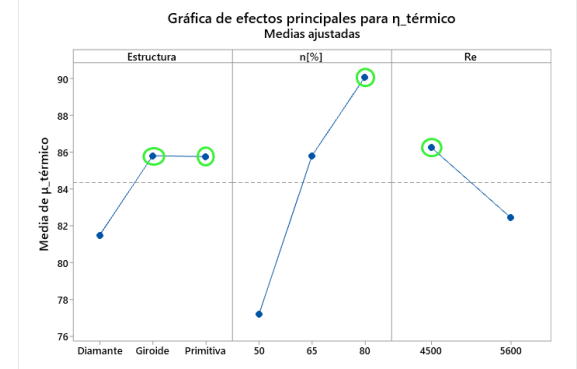
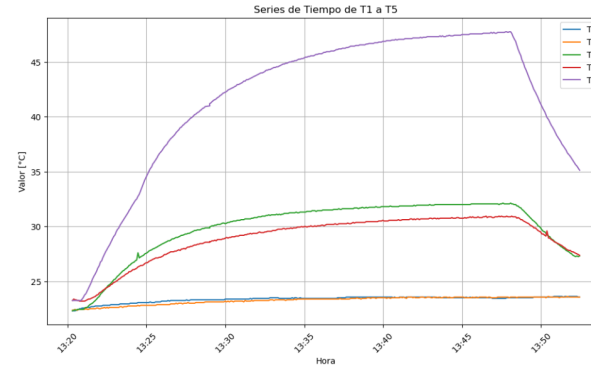
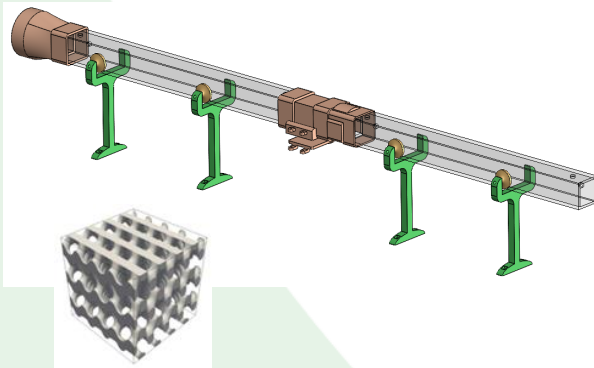
Recomendaciones

Trabajos futuros

Colocación de probeta en pieza central

Evaluación de rendimiento térmico con uso del prototipo

Cálculos analíticos y análisis de resultados





Resultados

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Estructura TPMS	Factores		Variables de salida		
	n [%]	Re	ΔT [°C]	ΔP [Pa]	$\eta_{t\acute{e}rmico}$
Shwartz Diamante	65	5600	6,97	109	81,24
	50	4500	10,4	105	74,72
	65	5600	6,03	110	81,22
	65	4500	9,15	25	84,65
	50	4500	10,11	95	74,71
	50	5600	7,78	150	73,87
	65	4500	8,79	32	84,65
	50	5600	9,03	143	73,89
Shwartz Primitivas	50	4500	5,89	42	79,61
	65	4500	4,06	41	89,52
	80	5600	2,91	9	88,53
	65	4500	4,8	27	89,53
	65	5600	3,91	60	84,87
	50	5600	6,29	97	77,53
	80	5600	2,5	29	88,52
	50	5600	5,89	89	77,53
	50	4500	6,84	48	79,63
	80	4500	2,9	33	94,46
Schoen Giroide	80	4500	2,98	20	94,46
	65	5600	3,06	57	84,85
	80	4500	5,16	8	94,52
	65	4500	7,11	35	89,59
	65	5600	5,79	116	84,91
	80	5600	4,2	56	88,56
	65	5600	5,79	74	84,91
	65	4500	6,63	92	89,58
	80	5600	4,52	6	88,57
	80	4500	3,98	36	94,49
50	4500	10,49	58	79,70	
50	4500	9,96	54	79,69	
50	5600	8,59	337	77,58	
50	5600	8,56	326	77,58	



Resultados

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

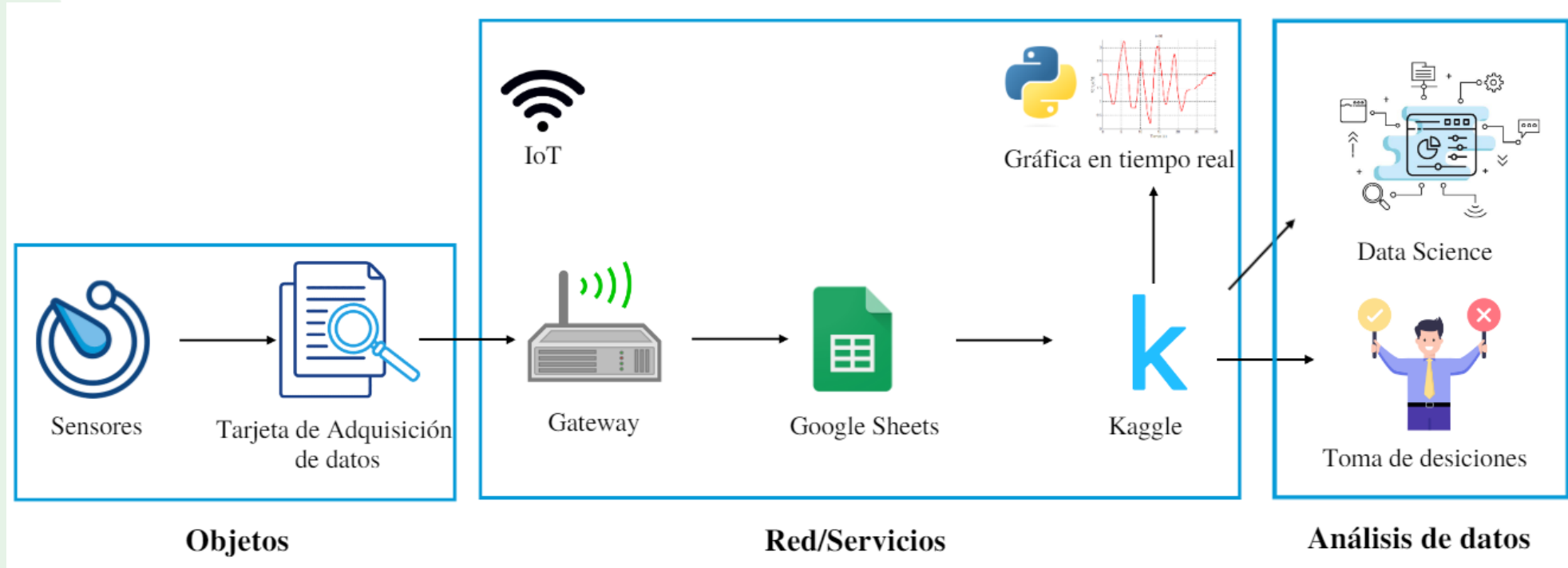
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Resultados

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

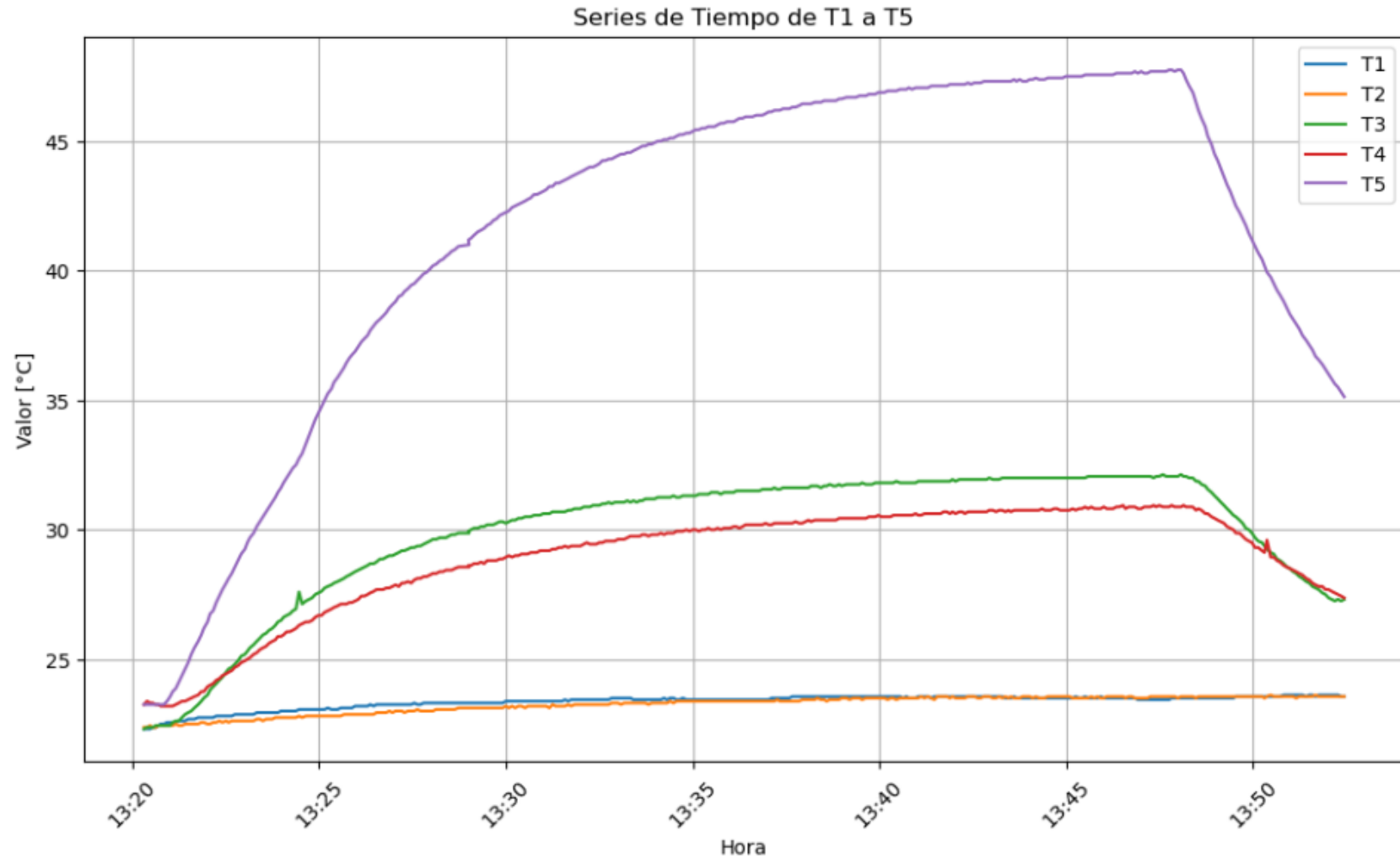
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Diferencia de temperatura

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

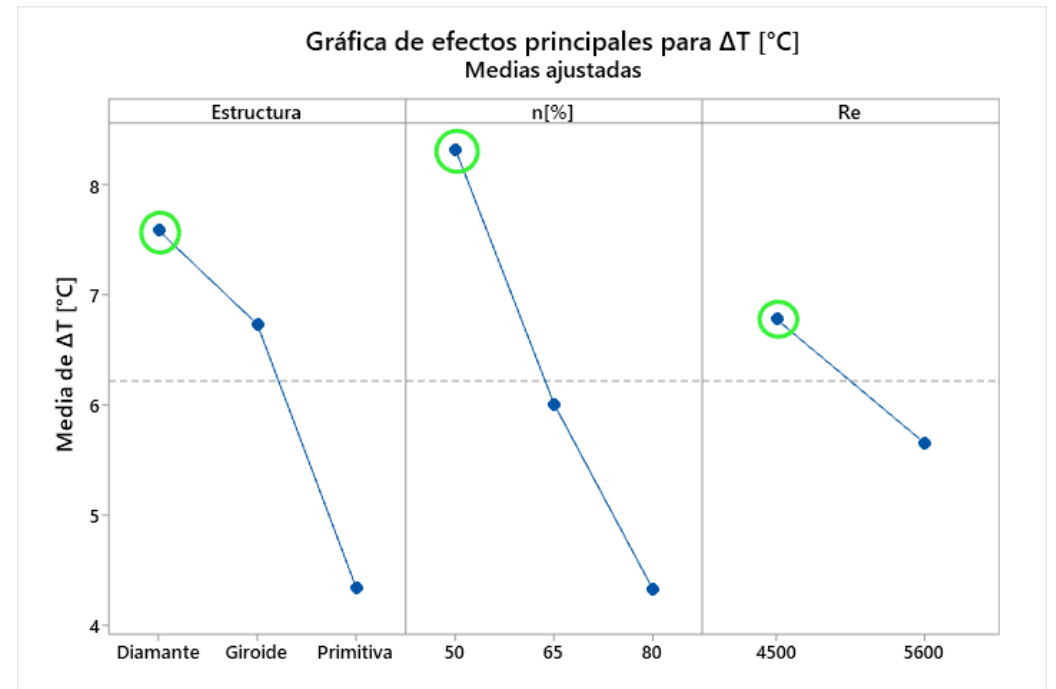
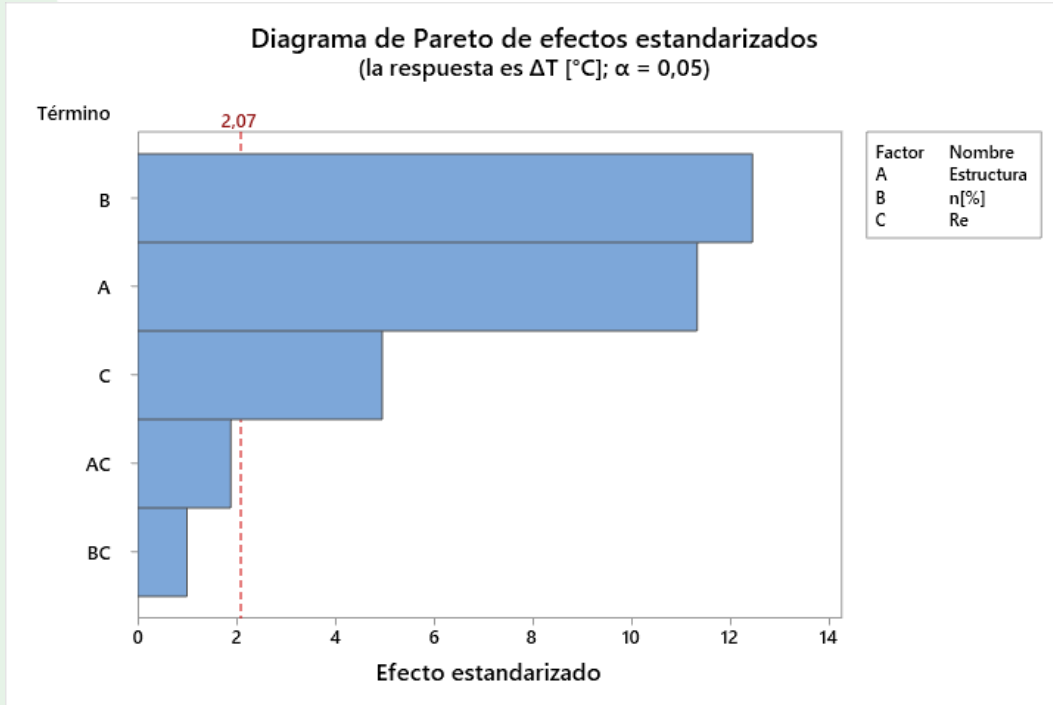
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Caída de presión

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

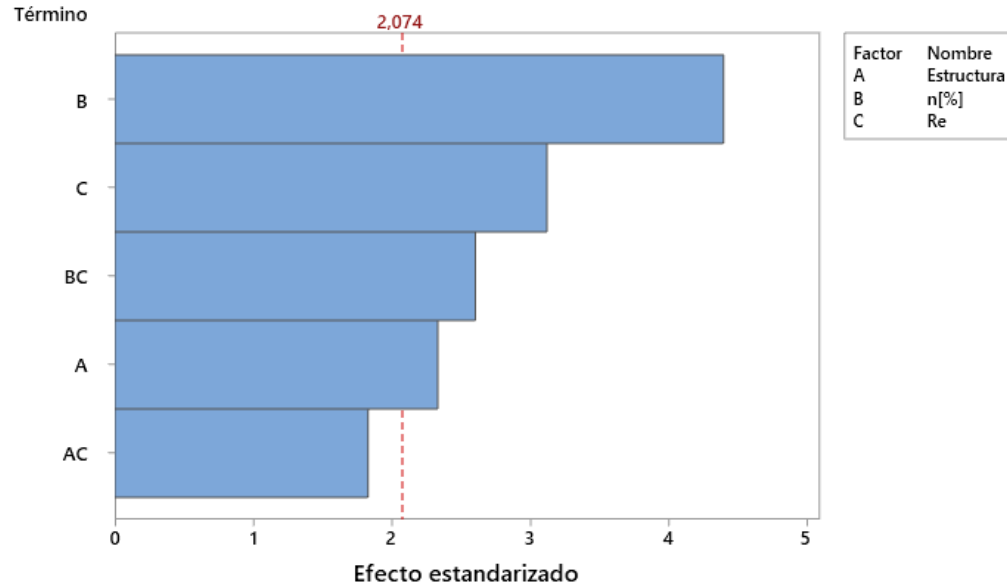
Pruebas y Resultados

Conclusiones

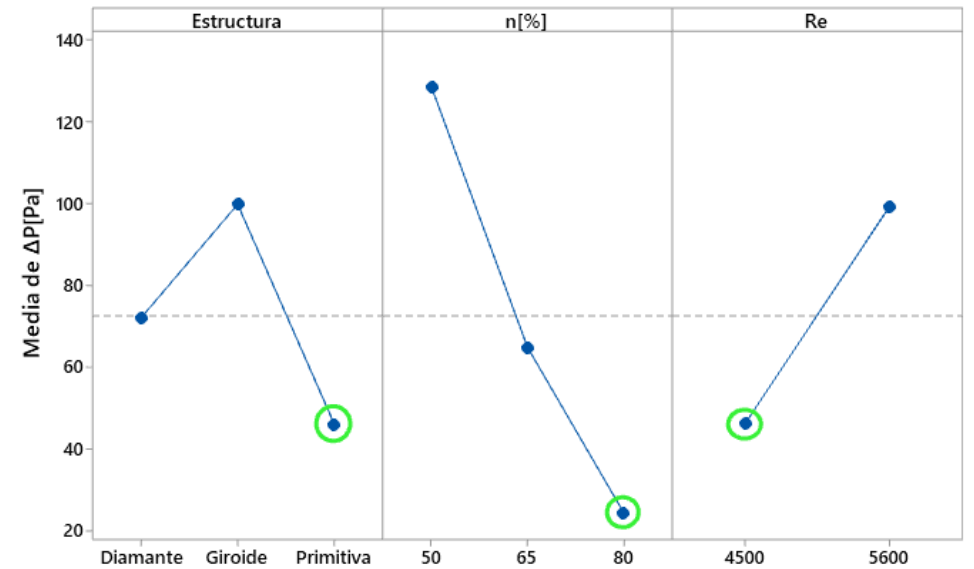
Recomendaciones

Trabajos futuros

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados
(la respuesta es ΔP [Pa]; $\alpha = 0,05$)



Gráfica de efectos principales para ΔP [Pa]
Medias ajustadas





Rendimiento térmico

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

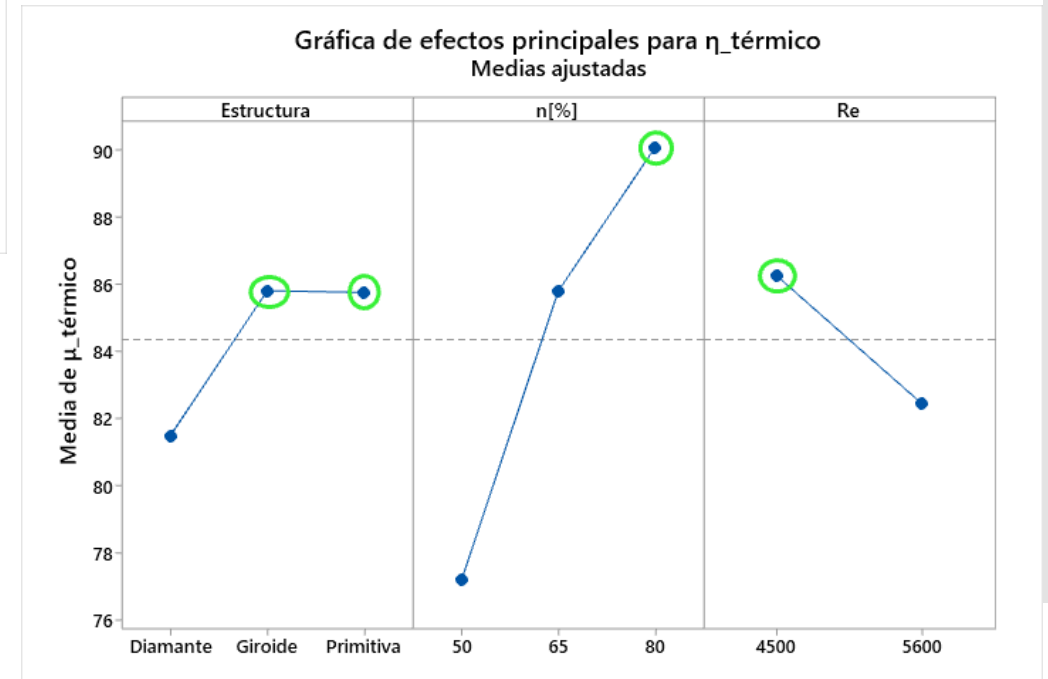
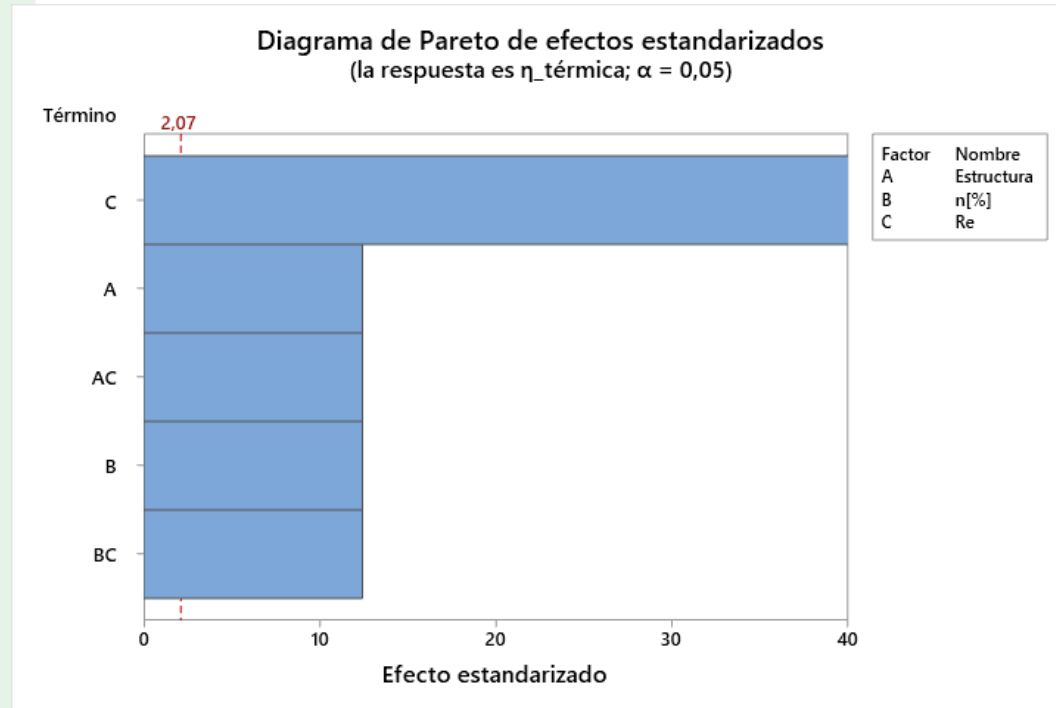
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Rendimiento térmico

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

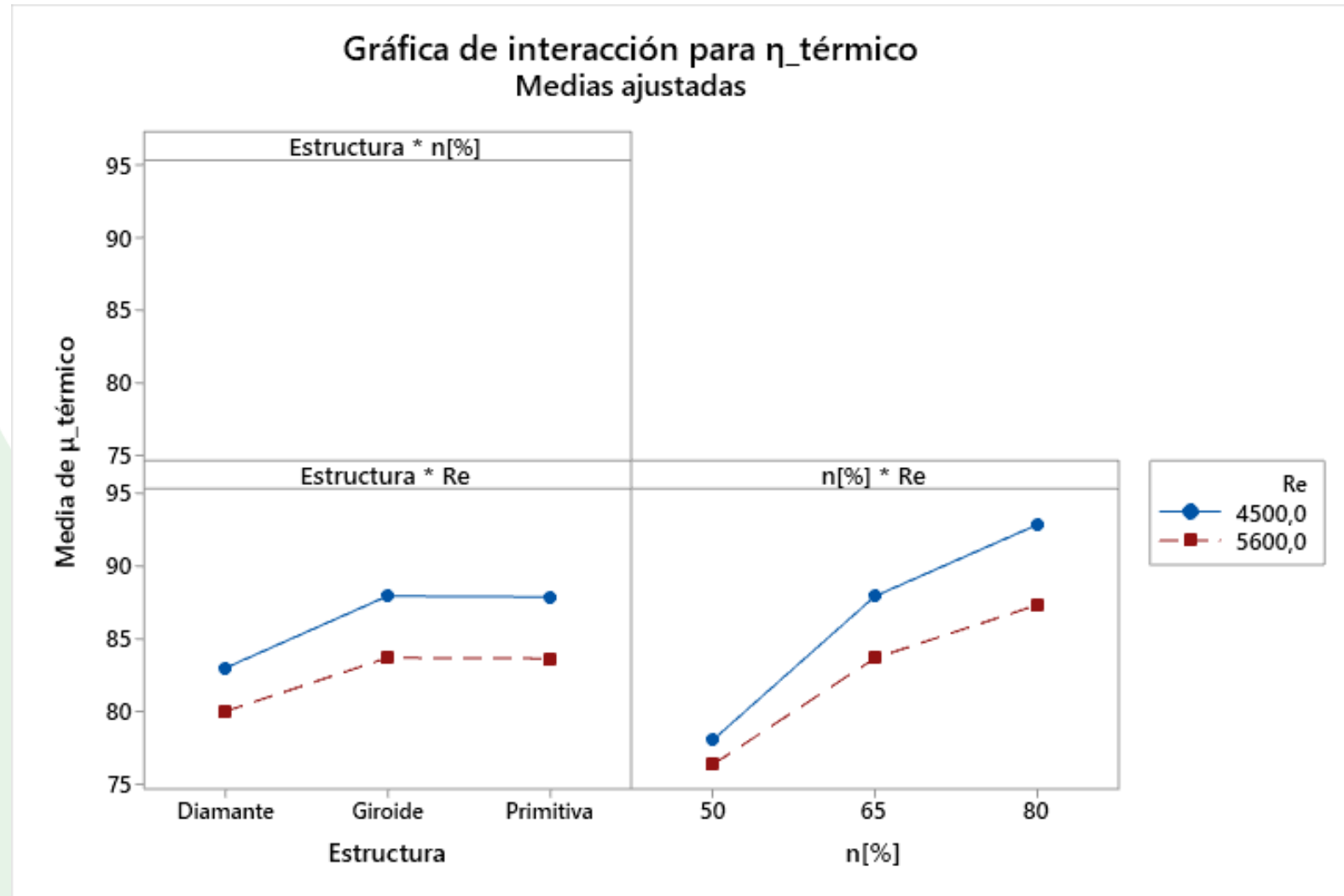
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Rendimiento térmico

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

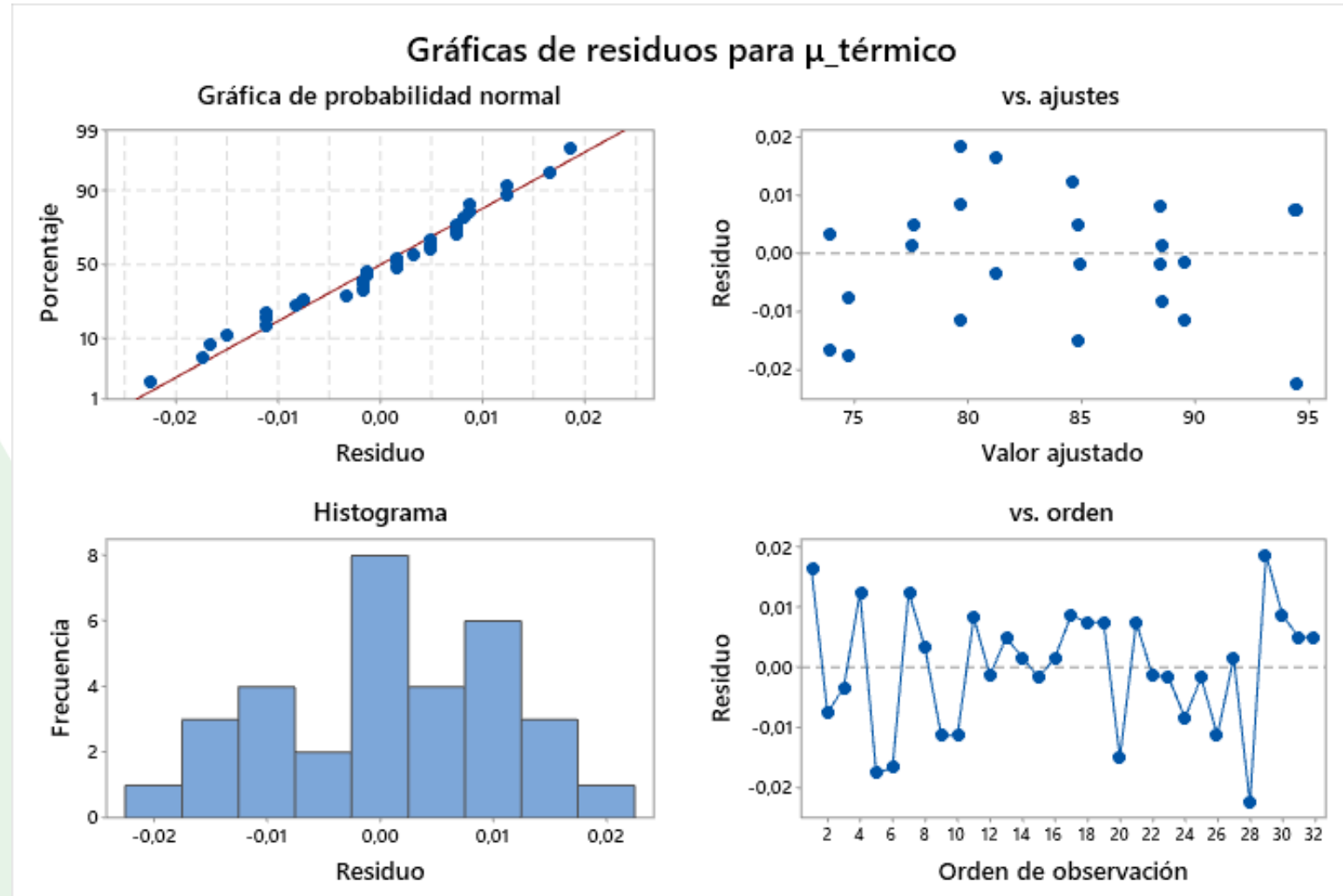
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Rendimiento térmico

Antecedentes y Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Variable de salida	R-cuadrado [%]
ΔT	95.59
ΔP	74.85
$\mu_{\text{térmico}}$	≈ 100

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	1283,76	142,640	959413,31	0,000
Lineal	5	1253,30	250,661	1685974,51	0,000
Estructura	2	98,37	49,186	330832,59	0,000
n[%]	2	840,68	420,341	2827261,54	0,000
Re	1	104,90	104,905	705602,39	0,000
Interacciones de 2 términos	4	25,28	6,321	42516,97	0,000
Estructura*Re	2	2,11	1,056	7105,70	0,000
n[%]*Re	2	18,61	9,306	62591,77	0,000
Error	22	0,00	0,000		
Falta de ajuste	6	0,00	0,000	2,96	0,039
Error puro	16	0,00	0,000		
Total	31	1283,76			



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Conclusiones

- Se investigó las variables empleadas para la validación del diseño experimental.
- Se diseñó, construyó y desarrolló un prototipo de plataforma IoT utilizando instrumentación mecatrónica para un eficiente monitoreo in-situ.
- Se diseñó y fabricó intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS de aluminio por el método de cera perdida.
- Se realizó la evaluación de intercambiadores de calor compactos con núcleo TPMS utilizando la plataforma de evaluación, aplicando diseño experimental factorial, en sus tres variables de salida más importantes: diferencia de temperatura, caída de presión y rendimiento térmico.
- Se desarrolló y validó el diseño experimental planteado con herramientas estadísticas que nos ayudan a determinar de manera práctica, gráfica y sencilla las variables de entrada más significativas al rendimiento térmico de intercambiadoras de calor con núcleo TPMS.



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar una fuente de calor con resistencias térmicas
- Se recomienda volver a fabricar la probeta fallida reportada, la cual nos dará mayor información de la incidencia de la interacción de los factores del diseño experimental.
- Se recomienda intentar evaluar el rendimiento térmico con estructuras TPMS diferentes a las estudiadas.
- Se recomienda realizar análisis computacionales para complementar los estudios realizados.
- Se recomienda reemplazar con sensores las variables físicas medidas externamente con instrumentos (temperaturas externas, velocidad del fluido) a la plataforma de evaluación con el objetivo de optimizar el tiempo de ejecución de los experimentos.
- Se recomienda reemplazar con sensores las variables físicas medidas externamente con instrumentos (temperaturas externas, velocidad del fluido) a la plataforma de evaluación con el objetivo de optimizar el tiempo de ejecución de los experimentos.



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Trabajo futuro

- Se recomienda proyectar los estudios realizados al rendimiento térmico de intercambiadores de calor con núcleo TPMS basados en dos corrientes de fluido,
- Se recomienda dar soporte al manual de usuario el cual fue realizado en la plataforma *Kaggle: Machine Learning and Data Science Community*.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Referencias

- Pagac, M., Hajnys, J., Ma, Q.-P., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P., & Mesicek, J. (2021). A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing. *Polymers*, 13(4), 598. <https://doi.org/10.3390/polym13040598>
- *Impresión 3D: Resina de fotopolímero frente a filamento | Liqcreate*. (s. f.). Recuperado 31 de julio de 2023, de <https://www.liqcreate.com/es/art%C3%ADculos-de-apoyo/resina-de-impresi%C3%B3n-3d-vs-filamento/>
- Restrepo, S., Ocampo, S., Ramírez, J. A., Paucar, C., & García, C. (2017). Mechanical properties of ceramic structures based on Triply Periodic Minimal Surface (TPMS) processed by 3D printing. *Journal of Physics: Conference Series*, 935, 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/935/1/012036>
- Veintimilla Bautista, F. (2023). *Fabricación de intercambiadores compactos usando el método de fundición por cera perdida* [Bachelor Thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecatrónica.]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/36139>
- Attarzadeh, R., Rovira, M., & Duwig, C. (2021). Design analysis of the “Schwartz D” based heat exchanger: A numerical study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 177, 121415. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121415>
- Gawronska, E., & Dyja, R. (2021). A Numerical Study of Geometry’s Impact on the Thermal and Mechanical Properties of Periodic Surface Structures. *Materials*, 14(2), 427. <https://doi.org/10.3390/ma14020427>
- Pollak, A., Hilarowicz, A., Walczak, M., & Gąsiorek, D. (2020). A Framework of Action for Implementation of Industry 4.0. An Empirically Based Research. *Sustainability*, 12(14), 5789. <https://doi.org/10.3390/su12145789>

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Estado del arte

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Referencias

- Vilarrubí, M., Riera, S., Ibañez, M., Omri, M., Laguna, G., Fréchette, L., & Barrau, J. (2018). Experimental and numerical study of micro-pin-fin heat sinks with variable density for increased temperature uniformity. *International Journal of Thermal Sciences*, 132, 424-434. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.06.019>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Educación.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica* (8ª ed). McGraw Hill.